

Modelación del crecimiento en el ganado blanco orejinegro (Bon) mediante modelos no lineales y un modelo lineal .

Modeling of the growth of blanco orejinegro cattle (Bon) using nonlinear models and a linear model.

Juan D Hernández¹; Juan Carlos Rincón Flórez²

¹Estudiantes MVZ universidad tecnológica de Pereira. ²Docente universidad tecnológica de Pereira

Email: juandavihernandez@utp.edu.co, caedsanchez@utp.edu.co

Resumen

Se modela la madures sexual del ganado blanco orejinegro (Bon) partiendo que es un recurso genético propio, con necesidad de caracterizar su crecimiento con el fin de mejorar dicho recurso genético. De tal manera que pueda ser utilizado eficientemente en los sistemas de producción bovina de Colombia. se emplearon diferentes modelos estadísticos, para determinar el que mejor se ajusta al crecimiento del ganado Bon, para su análisis se compararon modelos no lineales (brody) y un modelo lineal (Richards). Con el fin de determinar las curvas de crecimiento, utilizando los registros de los animales del programa de la estación agraria paysandú de la universidad nacional de Colombia, sede Medellín ubicada en el municipio de santa Elena todos los animales pertenecientes al hato Bon puro se encontraron bajo las mismas condiciones de alimentación, manejo y sanidad.

Palabras clave: curva de crecimiento, razas criollas, madures sexual.

Abstract

It is modeled the sexual matures of the blanco orejinegro cattle's (Bon), since it is a genetic resource of its own, with the need to characterize its growth in order to improve this genetic resource. In such a way that it can be used efficiently in Colombia's bovine production systems. Different statistical models were used to

determine the best fit for the growth of the Bon cattle. For their analysis, nonlinear models (brody and Richards) and a linear model (simple linear regression) were compared. In order to determine the growth curves, using the records of the animals of the program of the agrarian season paysandú of the Colombian National University, located Medellín located in the municipality of Santa Elena all the animals belonging to the pure Bon herd were found under the same conditions of feeding, handling and sanitation.

Introducción

El ganado BON tiene potencial para carne y leche, sin embargo, aún no se ha descrito adecuadamente su crecimiento lo que puede tener gran importancia sobre la capacidad de desarrollo productivo de la raza, por lo tanto no se garantiza su utilización de forma eficiente y sostenible. Por ese motivo, es necesario hacer estudios que permitan caracterizar el crecimiento y entender toda su capacidad productiva.

El ganado BON se considera de doble propósito y posee alto poder biológico para cruzamientos con vacas lecheras como de carne (1), uno de sus mayores atributos es la gran resistencia a enfermedades ectoparasitarias en especial a la larva de *Dermatobia hominis*. Otorga vigor híbrido y muy buena habilidad materna, a la hora del ordeño y en ausencia del ternero la vaca retiene hasta el 65% de su leche residual, y aunque los terneros son pequeños al nacer son fuertes, con un índice de mortalidad muy bajo (2). La fertilidad de las vacas BON es alta en comparación con otras razas lecheras, con intervalos entre parto cercano a 12 meses, produciendo crías hasta los 15 años (3). Cruces de BON x Holstein en climas medios han demostrado incremento en la producción láctea, del mismo modo las características de producción lechera del ganado BON y sus cruces con ganado jersey también han sido estudiadas, el cruce $\frac{1}{4}$ jersey x $\frac{3}{4}$ BON mostro un incremento triple de la producción de lechera en comparación a las hembras BON puras (4), estos atributos sumados a mejorar las condiciones de manejo permiten que la raza exprese todo su potencial genético, al cual se le han brindado posibilidades. Así que aprovechando todos estos atributos al cruzarlos con ganados cebú puro o mestizo, puede ser una

buen alternativa para mejorar los índices de baja productividad de los países latinoamericanos (2).

El ganado Blanco Orejinegro descendiente del ganado traído por Colón durante su segundo viaje, ha sobrevivido durante casi 500 años en las áreas tropicales colombianas productoras de café. Además de su capacidad adaptativa, este ganado ha mostrado otras características como: docilidad, habilidad para aprovechar forrajes de mala calidad, gran habilidad materna, mayor precocidad sexual, alta fertilidad, mayor productividad en cruces F1 (carne y leche) y marcada resistencia a ectoparásitos. Estas características en conjunto con hallazgos moleculares recientes que sugieren alta variabilidad genética y resistencia a patógenos bacterianos y vírales, demuestran que esta raza, que en la actualidad se encuentra en vía de extinción, es portadora de información genética importante que la convierte en una alternativa para la producción en las condiciones tropicales (2), lo cual justifica los estudios encaminados a su entendimiento y caracterización productiva.

El ganado Bon presenta características específicas de carácter fenotípico, como lo es su pelaje blanco, orejas negras, aplomos sólidos, pecho bien estructurado y pelvis anchas, con muy buena aptitud productiva para carne y leche, adaptado al trópico y resistentes a múltiples enfermedades de origen infeccioso, lo que los convierte en un recurso genético importante para la ganadería colombiana. Se ha utilizado algunos cruces de BON con otras razas, incluyendo la raza Holstein con el fin de mejorar la calidad láctea y mayor peso cárnico (1).

El desarrollo corporal y el crecimiento es un valor importante al momento de evaluar la productividad, en el interfieren aspectos fundamentales como son la genética, el peso al destete y el entorno (4). Diferentes modelos matemáticos han sido propuestos para describirlo, entre los que se encuentran los modelos no lineales que son los que presentan un mayor ajuste a las condiciones de crecimiento, por lo tanto proveen información importante para efectos de investigación y recomendaciones de orden productivo (5). No obstante los parámetros de una función de crecimiento puede ser una alternativa para programas de selección, buscando mejor precocidad, mayor peso al destete y mejor calidad en canal (6).

El crecimiento animal presenta una forma sigmoideal que se diferencia en tres fases: La aceleración, que como su nombre lo dice representa el crecimiento acelerado y que llega al máximo en el punto de inflexión donde inicia la fase de desaceleración que se caracteriza por la disminución de la tasa de crecimiento debido a una serie de factores fisiológicos. Finalmente, se llega la fase lineal, donde el crecimiento se presenta sólo para reposición de tejido, por lo tanto corresponde a la llegada del peso adulto (5). Las funciones matemáticas más adecuadas para la evaluación de las características de crecimiento son las no lineales que han sido descritas mediante distintos modelos como el de Gompertz,(7) el de Verholst también llamado el logístico (8), el de Brody (9) y el de Von Beertalanffy (10–12).

El modelo Brody puede ser utilizado para describir el crecimiento en bovinos cruzados, siendo este una herramienta que se puede emplear en el proceso de selección bovina multirracial, de acuerdo a la precocidad de un grupo genético determinado (13). De acuerdo con lo anterior, existen diferentes modelos matemáticos para describir el crecimiento en bovinos, sin embargo en el ganado BON aún no es claro cuál se ajusta mejor, por lo tanto, el objetivo de este trabajo fue Determinar el comportamiento y los parámetros de la curva de crecimiento del ganado BON de la estación agraria Paysandú de La Universidad Nacional de Colombia, Sede Medellín.

Materiales y métodos

El presente trabajo se realizó con los registros del pesaje mensual de los animales del programa de la raza Blanco Orejinegro BON de la estación agraria Paysandú de la Universidad Nacional de Colombia, sede Medellín la cual se encuentra ubicada en el departamento de Antioquia, en el corregimiento de Santa Elena, a 16 Km del municipio de Medellín. El clima y la zona de vida es de bosque húmedo montano bajo, con una temperatura media de 14°C, a una altura aproximada de 2500 m.s.n., con una topografía ondulada y praderas con el 50% de pasto Kikuyo (*Pennisetum clandestinum*) y 50% de gramíneas nativas (*Paspalum conjugatum* y *P. notatum*).

Todos los animales pertenecientes al hato BON puro se encontraron bajo las mismas condiciones de alimentación, manejo, sanidad y en pastoreo (sin suplemento). Los animales fueron pesados mes a mes en la báscula desde el establecimiento del programa. De acuerdo a lo anterior, se recolectaron 1104 registros de pesos mensuales de 70 individuos con el fin de construir la curva de crecimiento. En promedio se utilizaron 15,54 registros de peso por cada animal. Sin embargo, el máximo fue de 38 registros de peso y el mínimo de solo dos. En general los animales fundadores presentaron menor número de pesajes y los animales nacidos en el hato tuvieron mayor cantidad de pesajes y con mayor presencia en la medida que la práctica de pesajes se volvieron rutina. Las edades de los individuos se distribuyeron con edades entre el día 1 y el día 861, con una media de 406,1 días de edad y una desviación estándar de 274,72 días. Posterior a la recolección de la información se realizó una revisión detallada con el fin de determinar la confiabilidad, de tal manera que los registros sobre los que se encontró sospecha de su validez y de ser atípicos o fisiológicamente anormales fueron retirados de los análisis definitivos, mediante un proceso de análisis.

Inicialmente se realizó un análisis descriptivo de los datos obtenidos y posteriormente se describió el crecimiento y la modelación de la curva de crecimiento mediante el modelo no lineal propuesto por Brody $Y = \beta_0 + (1 - \beta_1 t^{\beta_2} \exp^{-\beta_2 t})$ (13), el modelo Richards $Y = \beta_0 (1 - \beta_1 \exp^{-\beta_2 t})^m$ (14) y el modelo de Weibull $Y = \beta_0 - \beta_1 \exp^{-\beta_2 t^m}$ (15). Se comparó adicionalmente un modelo lineal (regresión lineal simple) $Y = \beta_1 + \beta_2 t$ (16). El estudio se realizó de carácter explicativo, con el fin de describir el crecimiento del ganado BON mediante el mejor modelo matemático. Posteriormente el análisis de la información recolectada y del ajuste de los modelos matemáticos para los datos que fueron ejecutados en la Universidad Tecnológica de Pereira. Los diferentes modelos fueron analizados mediante el Software R (17), el cual usa mínimos cuadrados para calcular los parámetros. Todos los efectos fueron tomados como fijos (β_0 , β_1 , β_2).

Resultados

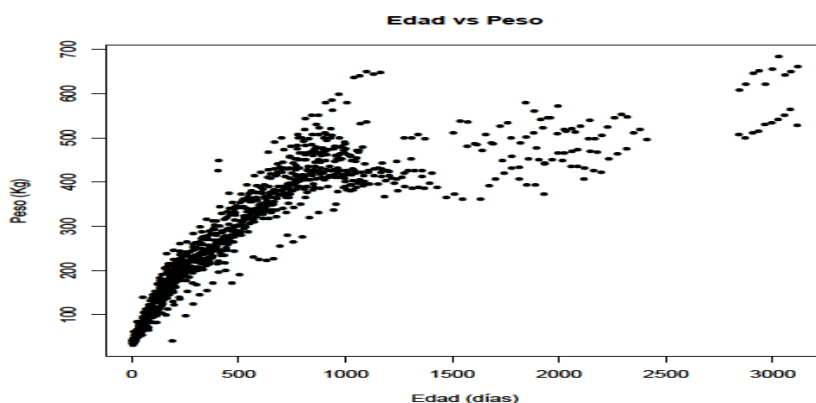
El análisis total tuvo en cuenta 1103 registros pareados de edad y peso que mostraron un mínimo de edad de 0 días y máximo de 3118. El peso máximo fue de 683 kg. Los demás datos se muestran en la tabla 1.

Tabla 1: Descripción general de datos de edad y peso para describir la ganancia para el ganado BON.

	N	MEDIA	SE	SD	MIN	MAX
Edad (días)	1103	431	18,14	602,53	0	3118
Peso	1103	275	4,48	148,76	32	683

Se realizó un análisis de dispersión de la edad en relación al peso con los datos recolectados para mirar el comportamiento del crecimiento del ganado Blanco Orejinegro. El comportamiento se presenta en la figura 1, donde se puede evidenciar un comportamiento en forma de curva, típico del crecimiento en los mamíferos.

Figura 1. Diagrama de dispersión del peso en función de la edad en ganado Blanco orejinegro



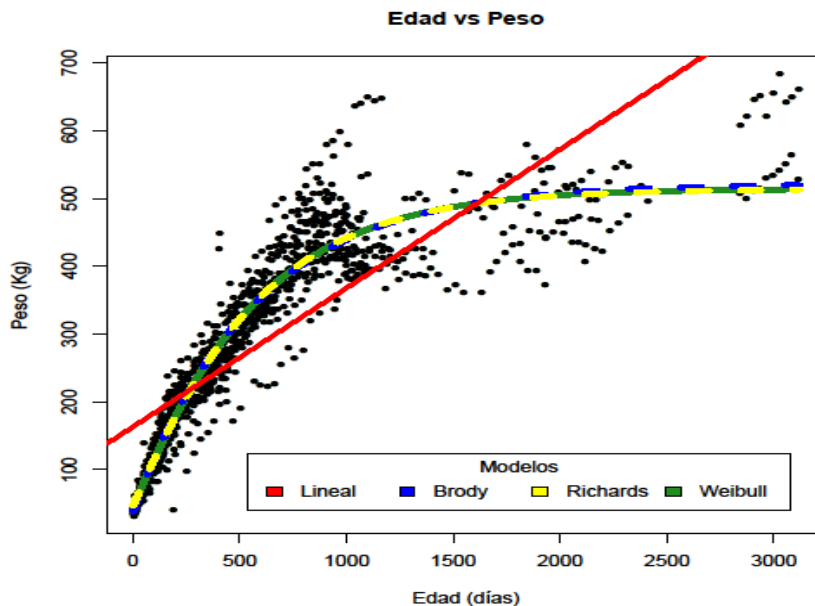
Posteriormente se determinaron los modelos seleccionados para estimar el que presenta un mejor ajuste y se acomode mejor al objetivo. Las determinaciones de los parámetros estadísticos de los diferentes modelos son presentados en la tabla 2, donde es posible evidenciar la variación de los parámetros de las curvas individuales de crecimiento para ganado BON mediante el ajuste de un modelo lineal y tres modelos no lineales: Brody, Richards y Weibull,

Tabla 2. Parámetros de ajuste de los modelos lineal, Brody, Richards y Weibull

Modelo	Parámetro	Estimado
Lineal	AIC	12891,72
	BIC	12906,73
	SQE	7650937
Brody	AIC	11477,43
	BIC	11497,45
	SQE	2118687
Richards	AIC	11476,21
	BIC	11501,24
	SQE	2112517
Weibull	AIC	11477,23
	BIC	11502,26
	SQE	2114470

El modelo que logró el mejor ajuste fue el modelo de Richards el cual presento los menores valores de SQE (2118687) mostrando una buena capacidad de remoción de variabilidad, produciendo un modelo más explicativo. Adicionalmente, obtuvo el valor más bajo de AIC Y BIC (11476,2 y 11501,24 respectivamente), por ende lo postula como un modelo acorde para simular y determinar parámetros de crecimiento en el ganado BON, según los datos arrojados los modelos no lineales son los que mejor se ajustan a la curva de crecimiento del el ganado blanco Orejinegro siendo el de Richards el más ajustado (figura 2).

Figura 2. Diagrama de los Modelos matemáticos y su crecimiento.



En el modelo lineal la estimación de β_0 : corresponde al peso al nacimiento, β_1 : corresponde a la ganancia de peso diario. En los demás modelos Brody, Richards, weibull, β_0 : corresponde al peso al peso adulto, β_1 : corresponde a un parámetro de ajuste, β_2 : Corresponde al índice de madurez representado como una proporción de porcentaje del máximo crecimiento con respecto al peso adulto del animal. M: corresponde a la pendiente de crecimiento

En los diferentes modelos la estimación de β_0 , entendido comúnmente como el peso maduro, fue variable, obteniéndose el mayor valor con el modelo de Brody (521 kg) Por otra parte el parámetro. El parámetro β_1 fue mayor con el método de Weibull y menor con el modelo de Richards lo que nos da un margen de error menor en este modelo. El parámetro β_2 , entendido como el índice de madurez fue menor para el modelo de Weibull y mayor en el modelo Richards (Tabla 3).

Tabla 3. Parámetros estadísticos y valor estimado para los modelos Lineal, Brody, Richards y Weibull en el ganado BON.

Modelo	Parámetro	Valor estimado
Lineal	β_0	163,32
	β_1	0,204
Brody	β_0	521,46
	β_1	0,927
	β_2	0,00177
Richards	β_0	514
	β_1	0,852
	β_2	0,00201
	M	1.25
Weibull	β_0	514
	β_1	468
	β_2	0,00120
	M	1.06

Teniendo en cuenta el mejor ajuste logrado fue con el modelo de Richards, se evaluó el porcentaje de madurez a los 12, 18 y 24 meses en el ganado BON y los resultados fueron: 51.78% a los 12 meses (266.11 kg) , 65.85% a los 18 meses (338 kg) y 76.07% a los 24 meses (390); lo cual indica una precocidad interesante en este ganado que a los 24 meses presenta un 76.01% de madurez, entendiéndose que el 100% de la madurez se logra cuando se alcanza el peso adulto. Adicionalmente, se encontró que aproximadamente a los 708 días de edad se alcanza el 75% de madurez aproximándose más a los resultados obtenidos en curvas de crecimiento de ganados productores de carne.

Discusión

Los valores obtenidos para SQE, AIC y BIC en general coincidieron siempre entre sí para clasificar los modelos de acuerdo a su nivel de ajuste; en todos los casos

cuando uno presentaba los menores valores, los demás también los presentaban. La estimación de SQE en general sirvió para clasificar los modelos de acuerdo a la capacidad explicativa de este que se evidencia por la remoción de varianza del error, lo que permite estimar los mejores modelos cuando se presentan valores bajos de SQE.

El parámetro β_2 puede ser interpretado como un índice de madurez del animal, indicando la velocidad de crecimiento para alcanzar el peso asintótico a partir del peso inicial, fue menor para el modelo de Weibull y mayor en el modelo Richards. El modelo lineal hace pensar en problemas de ajuste en el modelo debido a que en algunos lugares de la curva de crecimiento podría subestimar pesos y en otros lugares podría sobreestimarlos, generando dificultades predictivas que pudieron ser evidenciadas por los altos valores que presentó el modelo en el peso al nacimiento de los animales.

Una medida del ajuste adecuado del modelo de Richards lo constituye la información fenotípica y descriptiva de la raza BON, que reporta pesos adultos muy cercanos a los obtenidos mediante el parámetro β_0 del presente trabajo y resaltan una precocidad importante de esta raza (1), indicando una buena coherencia biológica del modelo matemático obtenido, lo cual fortalece la evidencia de modelación adecuada. Sin desconocer que algunos estudios utilizando otras razas de ganado han usado comúnmente el modelo de Brody, debido a que ha sido reportado como el de mejores ajustes (1).

Los parámetros de crecimiento están influenciados por el manejo, las condiciones de alimentación propias del hato y las características de la raza. Sin embargo, al comparar los resultados con otros estudios realizados sobre este tema en razas como Angus, Cebú y algunos cruces comerciales, fue posible observar iguales o mejores parámetros productivos de acuerdo al modelo de Richards para el ganado BON. En un estudio publicado recientemente se obtuvieron valores de índice de madurez menores o similares a los reportados en este trabajo (0,00153), encontrando parámetros de 0,0009, 0,0012, 0,0012, 0,0008 para el cruce Angus-Cebú, Brahman puro, Holsteín-Cebú y Simental-Cebú, respectivamente (11). Los resultados obtenidos fueron similares a los encontrados en el cruce Angus-Cebú y

muy parecidos a los reportes obtenidos para el cruce de BON-Cebú que presenta un peso asintótico de 514 kg y un índice de madurez de 0,00201.

Con respecto al porcentaje de madurez a los 12 y 18 meses, el ganado BON presentó valores de 51.78% y 65.85% lo cual es superior a los reportes del cruce con BON-cebú (39,4% y 50,3%) y algunos otros reportes de cruces comerciales (3), lo que muestra el potencial productivo de este recurso genético Colombiano. Por otra parte, la edad para alcanzar el 75% y el 95% de madurez fue de 708 y 1578 días respectivamente; estos valores son inferiores a los encontrados en algunos cruces con ganados comerciales (3), pero podría indicar que la producción con este ganado requiere de sacrificios tempranos en comparación con otras razas comerciales.

Por ejemplo el parámetro β_2 en el BON fue de 0,00201 y en el cruce comercial de Angus por Cebú reportado por otro investigador es de 0,00151, mostrando una ganancia de peso muy parecida entre el BON y este cruce que es especializado para la producción de carne. En otro parámetro como el porcentaje de madurez a 12 y 18 meses, la del BON es 51.78% y 65.85% y la del cruce es de 45 y 56,8% indicando que el ganado BON logra tener buen peso rápidamente y reproductivamente es una animal más precoz, lo que se traduce en más partos por animal en la vida productiva y en más ingresos económicos para el productor.

El ganado BON ha demostrado diferentes cualidades adaptativas, de precocidad, de resistencia a enfermedades y productivas que lo postulan como un recurso genético muy importante para la ganadería tropical. Sin embargo, se han desarrollado muy pocos trabajos que caractericen su eficiencia productiva y aún se desconoce su composición genética, y su eficiencia reproductiva bajo diferentes condiciones de la producción pecuaria. La mayor parte de la producción bovina que usa BON, se aprovecha de la rusticidad que presenta este ganado y suministra dentro de sus sistemas de producción los peores recursos forrajeros y las condiciones sanitarias y de manejo más precario, lo cual genera grandes dificultades para estimar al menos cualidades comparativas de desempeño. Sin embargo, el paulatino aumento de información ha permitido generar algunos avances importantes para la

caracterización de este recurso genético, y en la medida que se pueda detallar sus características productivas y la caracterización genética, se podrá aprovechar de una manera más eficiente este recurso zoogenético para la producción de carne.

Conclusión general

En esta tesis se Determinó el comportamiento y los parámetros de la curva de crecimiento del ganado blanco orejinegro de la estación agraria Paysandú de La Universidad Nacional de Colombia, Sede Medellín y el modelo que mejor describió el comportamiento del crecimiento del ganado BON fue el modelo de Richards este modelo evidencia una importante capacidad productiva del ganado objeto de estudio permitiendo obtener un crecimiento comparable o superior al de ganados y cruces comerciales utilizados para producir carne en condiciones tropicales, lo cual indica ser un recurso genético, zootécnico y económico importante para ser usado en la producción de carne bovina colombiana.

Agradecimientos

A la estación agraria Paysandú de La Universidad Nacional de Colombia, Sede Medellín por permitir acceder a los datos requeridos para la elaboración y estudio de la presente tesis.

Bibliografía

1. Gallego GJ, Moreno OF TC. Manejo de la raza criolla blanco orejinegro, BON y sus cruzamientos. Corpoica. 2008.
2. López A, Saldarriaga OA, Arango AE, Lopez MTR, Tobon FNZ, A. MO, et al. Ganado Blanco Orejinegro (BON): Una alternativa para la producción en Colombia. Rev Colomb Ciencias Pecu. 2016;14(2):121–8.
3. López Herrera A, Saldarriaga OA, Arango AE, Rugeles lopez MT, Zuluaga Tobon FN, Olivera A. M, et al. Ganado Blanco Orejinegro (BON): Una alternativa para la producción en Colombia. Rev Colomb Ciencias Pecu [Internet]. 2001;14(2):121–8. Available from: <http://rccp.udea.edu.co/index.php/ojs/article/view/40>
4. Jhon Cañas Á, Julian Ramirez T, Oscar Arboleda A, Jorge Ochoa S, Oscar Vergara G, Cerón-Muñoz M. Estimación de parámetros genéticos para peso al destete en ganado Blanco Orejinegro (BON) en el noroccidente Colombiano. Rev MVZ Cordoba. 2008;13(1):1138–45.
5. Noguera RR, Pereira RL SR. Comparación de modelos no lineales para describir curvas de crecimiento en cuyes (*Cavia porcellus*) desde el nacimiento hasta la edad de sacrificio. [Internet]. Livestock Research for Rural Development. 2008 [cited 2017 Sep 19]. Available from: <http://www.lrrd.org/lrrd20/5/nogu20079.htm>
6. Souza JC BS. Estimativa do peso de bovinos de corte aos 24 meses da raça Nelore usando curvas de crescimento. 23 [Internet]. 1994;85–91. Available from: http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_nlinks&ref=000086&pid=S1900-9607201500010000400009&lng=en
7. Gompertz B. On the nature of the function expressive of the law of human mortality, and on a new mode of determining the value of life contingencies. Philos Trans R Soc [Internet]. 1825;115:513–85. Available from: <http://rstb.royalsocietypublishing.org/cgi/doi/10.1098/rstb.2014.0379>
8. Verhulst PF. Notice sur la loi que la population suit dans son accroissement. Correspondance Mathematique et Physique Publiee par A. Quetelet [Internet]. 1838;10:113–21. Available from: <http://ci.nii.ac.jp/naid/10021163653/>
9. S B. Bioenergetics and growth. New Cork. Reinhold Publ Corp [Internet]. 1945; Available from:

http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_nlinks&ref=000072&pid=S1900-9607201500010000400002&lng=en

10. Agudelo D, Cerón M, Restrepo L. Modelación de las funciones de crecimiento aplicadas a la producción animal. *Rev Colomb Ciencias Pecu.* 2008;21:39–58.
11. Vergara GO, Flórez MJ, Hernández PM, Aboleda ZE CR. Descripción del crecimiento de cuatro cruces bovinos mediante la utilización del modelo Brody [Internet]. Available from: http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_nlinks&ref=000088&pid=S1900-9607201500010000400010&lng=en
12. Bertalanffy L Von. Human Biology a Quantitative Theory of Organic Growth (Inquireies on Growth Laws. II)*. *Source Hum Biol* [Internet]. 1938;10174254(2):181–213. Available from: <http://www.jstor.org/stable/41447359> \n<http://about.jstor.org/terms>
13. Rios ACH, Garay ODV, Muñoz MFC, Agudelo-Gómez D, Zapata EMA. Growth curves in crossbred cattle using the Brody model | Curvas de crecimiento en bovinos cruzados utilizando el modelo Brody. *Livest Res Rural Dev.* 2008;20(9).
14. Richards FJ. A flexible growth function for empirical use. *J Exp Bot.* 1959;10(2):290–301.
15. Doganaksoy N. Weibull Models. *Technometrics.* 2004. 485-486 p.
16. Flórez JCR, Patiño JFQ. Comparación de modelos no lineales para describir el crecimiento en ganado Blanco Orejinegro (BON) [Internet]. *CES Medicina Veterinaria y Zootecnia.* 2015. p. 31–7. Available from: <http://revistas.ces.edu.co/index.php/mvz/article/view/3472>
17. Team R. R Development Core Team. *R A Lang Environ Stat Comput.* 2013;55:275–86.